



การผลิตและวิเคราะห์ลักษณะของผสมระหว่างเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์และเศษพลาสติก
พอลิพรอพิลีนในการผลิตบรรจุภัณฑ์ผนังบางโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป
Production and Characterization of Blend Ratio Between Virgin and Scrap
Polypropylene for Thin Wall Packaging by Injection Molding

สุรเชษฐ์ ตุ่มมี*

Surachet Toommee

ชिरาวุฒิ เพชรเย็น**

Chiravoot Pechyen

Received : December 26, 2018

Revised : May 2, 2019

Accepted : July 26, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วน้ำพอลิพรอพิลีนประเภทผนังบาง โดยใช้เศษพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ได้จากบรรจุภัณฑ์อาหารแช่แข็งและเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์พอลิพรอพิลีนในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ความต้านทานต่อแรงกด นอกจากนี้ยังวิเคราะห์โครงสร้างในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) และวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimetry : DSC) เพื่อศึกษาความเป็นผลึก จากผลการศึกษาพบว่าการใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถช่วยลดพลังงานในกระบวนการผลิตลงได้ อีกทั้งยังได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการ โดยอัตราส่วนระหว่างเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์พอลิพรอพิลีนกับเศษพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่เหมาะสมในการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วน้ำพอลิพรอพิลีนผนังบาง คือ เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ร้อยละ 50 และเศษพลาสติกร้อยละ 50 ซึ่งจะได้ชิ้นงานที่มีรูปลักษณะภายนอกตรงตามความต้องการ มีค่าความต้านทานต่อแรงกด 1038-1181 นิวตัน และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อนพบว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition Temperature : T_g) เท่ากับ -38 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization Temperature : T_c) เท่ากับ 104 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลอมเหลว (Melting Temperature : T_m) เท่ากับ 215 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : เศษพลาสติกพอลิพรอพิลีน / กระบวนการฉีดขึ้นรูป / บรรจุภัณฑ์ผนังบาง

*อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Lecturer at the Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

**อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Lecturer in the Department of Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology

Thammasat University

ABSTRACT

This study has investigated the feasibility of producing thin wall polypropylene glass with using scrap polypropylene from frozen food packaging and virgin polypropylene (PP) in different ratios. The specimens were formed by injection molding process and they were analyzed microstructure, physical properties, mechanical properties and thermal properties. The microstructure of thin wall were characterized by Scanning Electron Microscope (SEM). Mechanical properties were investigated Top load. The Differential Scanning Calorimetry (DSC) was used to analyze the crystalline structure of the product. The optimization results show that the proposed approach can help identify optimal ratios and achieve competitive advantages of energy consumption and product quality. Thin wall polypropylene glass can be successful recycled by using 50% scrap polypropylene to produce relatively high mechanical strength. Top load of the glass ranged from 1038-1181 N. Thermal properties of the products include glass transition temperature $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$, crystallization temperature $104\text{ }^{\circ}\text{C}$ and melting temperature $215\text{ }^{\circ}\text{C}$. The experimental compositions allowed recycling residues to produce thin wall polypropylene glass with suitable properties with reducing the cost of the process and environmental benefits.

Keywords : Scrap Polypropylene / Injection Molding Process / Thin Wall Injection Molding

บทนำ

อุตสาหกรรมพลาสติกมีการเติบโตมากขึ้นและถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญต่อเศรษฐกิจ เนื่องจากพลาสติกมีสมบัติที่โดดเด่นหลายด้าน มีความสะดวกต่อการขนส่ง กระบวนการผลิตชิ้นงานทำได้ง่ายและได้ชิ้นงานปริมาณมากต่อการผลิตหนึ่งครั้ง จึงเป็นเหตุให้อุตสาหกรรมพลาสติกได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็ว มีการนำพลาสติกมาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลายและหลากหลายรูปแบบ ทำให้มีอัตราการผลิตและความต้องการในการใช้งานวัสดุประเภทพลาสติกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีเศษพลาสติกและขยะพลาสติกในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลจึงได้รับความสนใจและให้ภาคอุตสาหกรรมให้ความสำคัญ เพราะเป็นการช่วยลดปริมาณขยะพลาสติก และเป็นการนำทรัพยากรกลับมาใช้ได้อย่างคุ้มค่าสูงสุด (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2555)

พลาสติกพอลิพรอพิลีน เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เบาที่สุด มีลักษณะสีขาวขุ่น ไม่ทึบแสง มีความแข็งและเหนียว ทนต่อแรงกระแทก ทนต่อการขีดข่วน ไม่เสียรูปง่าย ทนต่อสารเคมี ทนต่อความร้อน ป้องกันการผ่านของความร้อนได้ดี ป้องกันการผ่านของอากาศได้ดี เป็นฉนวนความร้อนที่ดีแม้อยู่ในภาวะอุณหภูมิสูง สามารถทนอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อได้ (สามารถผ่านกระบวนการสเตอริไรซ์ได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) พอลิพรอพิลีนมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 175 ถึง 182 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว เท่ากับ -10 องศาเซลเซียส (ชิราวุฒิ เพชรเย็น, 2559)



ภาพที่ 1 ระดับการพัฒนากระบวนการฉีดคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างระยะทางฉีดต่อความหนาผนัง

การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานผนังบาง (Thin wall injection molding) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีของกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก ซึ่งพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีนเป็นพลาสติกชนิดหนึ่งที่เหมาะนำมาฉีดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ผนังบาง เนื่องจากเป็นพลาสติกที่มีพฤติกรรมไหลตัวที่ดี มีความแข็งแรงสูงและสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี โดยการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานผนังบางนี้ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนาไม่เกิน 1.5 มิลลิเมตร (ไกรภพ ทองเศก, 2560) แสดงดังภาพที่ 1 (อิชชนก กิ่งทอง, 2561) ซึ่งแตกต่างจากการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานแบบทั่วไปที่ชิ้นงานมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ดังนั้นการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานผนังบางจึงเป็นวิธีที่ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำพลาสติกและช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การนำเศษพลาสติกพอลิพรอพิลีนประเภทบรรจุภัณฑ์อาหารจากกระบวนการผลิตมาใช้ใหม่ยังเป็นการช่วยลดปริมาณขยะอีกด้วย เนื่องจากในปัจจุบันขยะประเภทบรรจุภัณฑ์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการกำจัดขยะจำเป็นต้องมีการลงทุนสูง ดังนั้นการนำเศษพลาสติกพอลิพรอพิลีนจากกระบวนการผลิตมาใช้ใหม่จะทำให้ขยะประเภทบรรจุภัณฑ์มีปริมาณลดลง

ดังนั้นงานโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้วน้ำพอลิพรอพิลีนปริมาตร 22 ออนซ์ โดยผสมระหว่างเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์พอลิพรอพิลีนกับเศษพลาสติกพอลิพรอพิลีนจากกระบวนการผลิตด้วยกระบวนการฉีด อีกทั้งศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางกายภาพ ลักษณะปรากฏทางกายภาพและเสถียรภาพทางรูปทรง

วิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (Polypropylene Pellet) (Moplen EP546T, HMC Polymers Co., Ltd, ประเทศไทย) มาสเตอร์แบทช์สีขาว (White Masterbatch : PPM 1TA804, TOYO INK Co., Ltd, ประเทศไทย) และเศษพลาสติกพอลิพรอพิลีน

การเตรียมอัตราส่วนของพลาสติกบริสุทธิ์และเศษพลาสติกในการฉีดขึ้นรูป

การทดลองนี้ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลอง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์และเศษพลาสติกที่แตกต่างกัน คือ 100:0 (สูตรที่ 1) 75:25 (สูตรที่ 2) 50:50 (สูตรที่ 3) 25:75 (สูตรที่ 4) และ 0:100 (สูตรที่ 5) ตามลำดับ นอกจากนี้ในแต่ละสูตรการทดลองจะผสมมาสเตอร์แบทช์สีขาวร้อยละ 2 เพื่อช่วยควบคุมสีของบรรจุภัณฑ์ให้สม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน

การฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

กรรมวิธีในการผลิตของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งการเลือกใช้กรรมวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ชนิดของพลาสติกและความรวดเร็วในการผลิต กรรมวิธีในการผลิตที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ กรรมวิธีการฉีดพลาสติก (Injection Molding) (วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม, 2560) เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะซับซ้อนได้ดี กระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากมากนัก ตลอดจนสามารถใช้กับพลาสติกที่มีลักษณะเป็นผงและเม็ดได้

ในการฉีดขึ้นรูปจะใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป กำลัง 300 ตัน (Model FANUC ROBOTSHOT S-2000i 300B) แสดงดังภาพที่ 2 โดยเริ่มจากพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณตามสูตรข้างต้นร่วมกับค่าพารามิเตอร์ที่โรงงานใช้เป็นพารามิเตอร์การปรับฉีดแรก เมื่อได้ชิ้นงานจะนำมาพิจารณาว่าชิ้นงานแต่ละชิ้นเป็นไปตามมาตรฐานของโรงงานหรือไม่ หากชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปนี้มีรูปลักษณะภายนอกไม่ดี หรือไม่ตรงตามมาตรฐานก็จะปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ทั้งนี้ข้อบกพร่องที่ต่างกันก็จะมีแนวทางการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกันด้วย เช่น ถ้าชิ้นงานมีครีบเกิดขึ้นก็สามารถแก้ปัญหาได้โดยการเพิ่มแรงปิดแม่พิมพ์ ลดความเร็วในการฉีด ลดแรงดันฉีด ลดแรงดันย่ำ ลดเวลาในการให้แรงดันย่ำ หรือลดอุณหภูมิแม่พิมพ์ จากนั้นเมื่อปรับพารามิเตอร์จนได้ชิ้นงานที่มีรูปลักษณะภายนอกที่ดี ได้สัดส่วนที่ตรงตามมาตรฐานแล้วก็จะนำพารามิเตอร์นั้นมาเป็นพารามิเตอร์เริ่มต้นของการทดลองถัดไป แต่อย่างไรก็ตามการทำทดลองจะอยู่ภายใต้การควบคุมและดูแลของผู้เชี่ยวชาญทางด้านเครื่องฉีดนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ไปส่งผลให้เครื่องฉีดหรือแม่พิมพ์เป็นอันตราย



ภาพที่ 2 การทดลองฉีดขึ้นรูปแก้วน้ำ 22 ออนซ์ ด้วยเครื่องฉีด FANUC ROBOTSHOT S-2000i300B

การวิเคราะห์และทดสอบชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปโดยการฉีด

หลังจากทดลองฉีดขึ้นรูปแก้วน้ำพอลิพรอพิลีนปริมาณ 22 ออนซ์ จนได้ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูป จากนั้นจะนำชิ้นงานที่มีรูปลักษณะภายนอกที่ดี มีสัดส่วน ตรงตามมาตรฐานมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและโครงสร้างจุลภาค เพื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานของโรงงานและชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง ดังนี้

1. สมบัติเชิงกล ศึกษาโดยการทดสอบความต้านทานต่อแรงกด (Compressive strength) (Model MECMESIN ILC-5 LOAD CELL 2500N) ตามมาตรฐาน ASTM D695-15 โดยชิ้นงานจะได้รับแรงกระทำตั้ง

ฉากกับปากแก้ว เป็นแรงกดด้วยความเร็วค่าหนึ่งจนเกิดการเสียรูปร่างไป จะได้ค่าแรงสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรับได้ก่อนจะเกิดการเสียรูป

2. สมบัติทางกายภาพ ศึกษาโดยการหาค่าดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index) ดำเนินการตามมาตรฐานทดสอบ AB ของมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1238 อุณหภูมิที่กำหนดเป็น 190 องศาเซลเซียส และน้ำหนักที่ใช้กดคือ 2.16 กิโลกรัม

3. สมบัติทางความร้อน โดยการศึกษาอุณหภูมิของชิ้นงานด้วยเครื่องดีพีเพอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeters : DSC) (Model METTLER TOLEDO DSC 3) ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

4. ลักษณะปรากฏทางกายภาพ โดยการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) (JELO5407) โดยอาศัยหลักการกราดไปบนพื้นผิวตัวอย่างด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงซึ่งถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด (Electron gun) เมื่ออิเล็กตรอนดังกล่าวกระทบกับผิวชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยอะตอมต่างๆ จะปล่อยสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผลและให้ข้อมูลเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ จากนั้นจะนำชิ้นงานที่มีสมบัติที่ดีที่สุดมาทำการทดสอบด้านความปลอดภัยตามพระราชบัญญัติว่าด้วยการกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุที่ทำจากพลาสติก (ฉบับที่ 295) เพื่อดูว่าชิ้นงานนี้สามารถใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารได้หรือไม่

ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 กระบวนการฉีดขึ้นรูปที่อัตราส่วนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ร้อยละ 100 พบว่าชิ้นงานมีลักษณะผิวเรียบ ไม่มีครีบเกิดขึ้นแต่น้ำหนักเกินมาตรฐานเนื่องจากในระหว่างการทดลองนี้ไม่ได้มีการติดป้ายชื่อชิ้นงาน ซึ่งต่างจากกระบวนการผลิตจริงของโรงงานที่มีการติดป้ายชื่อชิ้นงานหลังจากขึ้นรูป ทำให้โรงงานติดป้ายชื่อชิ้นงานเป็นสำคัญและไม่ได้คำนึงรอยย่นที่จะเกิดขึ้นบนชิ้นงาน ดังนั้นในการทดลองนี้ซึ่งไม่ได้มีการติดป้ายชื่อ ผู้ทดลองจึงต้องการชิ้นงานที่มีรูปลักษณะที่ดีและไม่มีรอยย่นเป็นสำคัญ ด้วยเหตุนี้ในระหว่างการทดลองจึงเกิดปัญหาในการปรับค่าพารามิเตอร์ กล่าวคือ เมื่อผู้ทดลองพยายามปรับพารามิเตอร์เพื่อลดน้ำหนักชิ้นงาน โดยการลดน้ำหนักชิ้นงานนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ลดระยะชักสกรู ลดแรงดันย่ำ ปรับระยะการฉีด หรือแม้กระทั่งเพิ่มระยะสำรอง แต่เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้จะส่งผลให้ชิ้นงานมีรอยย่นเกิดขึ้น ในขณะที่เดียวกันถ้าหากปรับพารามิเตอร์เพื่อแก้ไขชิ้นงานที่มีรอยย่นจะมีปัญหาน้ำหนักเกินตามมา

การทดลองที่ 2 กระบวนการฉีดขึ้นรูปที่อัตราส่วนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ร้อยละ 75 และเศษพลาสติก ร้อยละ 25 โดยค่าพารามิเตอร์มีพื้นฐานมาจากภาวะการขึ้นรูปของการทดลองที่ 1 แต่มีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตามปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานในระหว่างการทดลอง พบว่าชิ้นงานที่ได้มีลักษณะผิวเรียบ ไม่มีครีบเกิดขึ้นแต่น้ำหนักเกินมาตรฐานซึ่งเป็นปัญหาในลักษณะเดียวกันกับการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 3 กระบวนการฉีดขึ้นรูปที่อัตราส่วนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ร้อยละ 50 และเศษพลาสติก ร้อยละ 50 โดยค่าพารามิเตอร์มีพื้นฐานมาจากภาวะการขึ้นรูปของการทดลองที่ 2 แต่มีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตามปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานในระหว่างการทดลอง พบว่าในระหว่างการทดลอง ชิ้นงานเริ่มมีครีบเกิดขึ้นแต่สามารถแก้ไขได้เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์ สุดท้ายจะได้ชิ้นงานมีลักษณะผิวเรียบ ไม่มีครีบเกิดขึ้นแต่น้ำหนักเกินมาตรฐานซึ่งเป็นปัญหาในลักษณะเดียวกันกับการทดลองที่ 1 และ 2

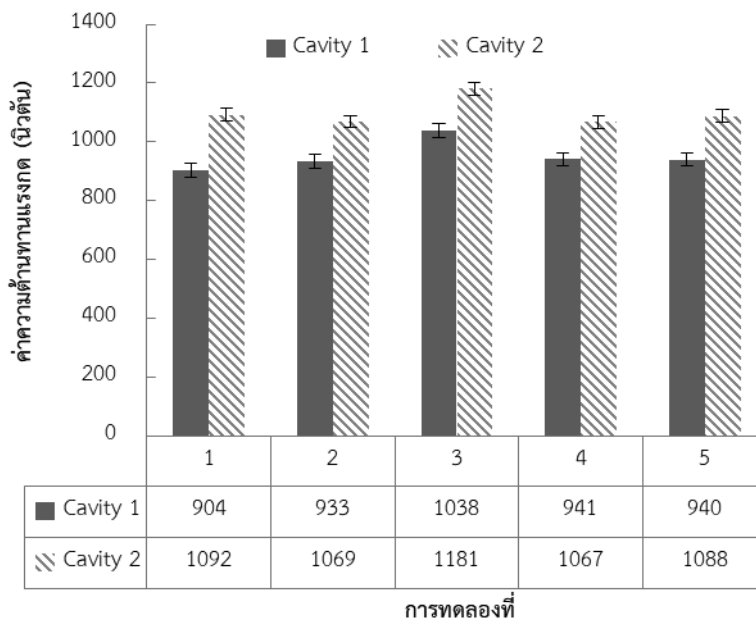
การทดลองที่ 4 กระบวนการฉีดขึ้นรูปที่อัตราส่วนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ร้อยละ 25 และเศษพลาสติก ร้อยละ 75 โดยค่าพารามิเตอร์มีพื้นฐานมาจากภาวะการขึ้นรูปของการทดลองที่ 3 แต่มีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตามปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานในระหว่างการทดลอง พบว่าในระหว่างทดลองชิ้นงานมีครีบเกิดขึ้น

แต่ก็ไม่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อแก้ไขได้ สุดท้ายจะได้ชิ้นงานมีลักษณะผิวเรียบ มีครีบและน้ำหนักเกินมาตรฐาน ซึ่งเกิดขึ้นเหมือนกับการทดลองที่ 1 2 และ 3

การทดลองที่ 5 กระบวนการฉีดขึ้นรูปที่อัตราส่วนเศษพลาสติกร้อยละ 100 โดยค่าพารามิเตอร์มีพื้นฐานมาจากภาวะการขึ้นรูปของการทดลองที่ 4 แต่มีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตามปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานในระหว่างการทดลอง พบว่าในระหว่างการทดลอง ชิ้นงานมีครีบเกิดขึ้น แต่ก็ไม่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อแก้ไขได้ สุดท้ายจะได้ชิ้นงานมีลักษณะผิวเรียบ มีครีบและน้ำหนักเกินมาตรฐาน ซึ่งเกิดขึ้นเหมือนกับการทดลองที่ 1 2 3 และ 4

ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงกด (Top Load)

ค่าการต้านทานต่อแรงกดเป็นการแสดงสมบัติ ด้านความแข็งแรงของชิ้นงานที่สอดคล้องกับลักษณะการนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตและการขนส่ง เช่น การซ้อนทับของชิ้นงานในขณะจัดเก็บ และการขนส่ง ดังนั้นหากชิ้นงานมีค่าต้านทานต่อแรงกดสูงย่อมแสดงถึงประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานที่ดีขึ้นนั่นเอง และค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกด แสดงดังภาพที่ 3 จากรูปจะเห็นได้ว่าการทดลองที่ 3 (อัตราส่วนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ร้อยละ 50) จะมีค่าความต้านทานแรงกดมากที่สุด เนื่องจากการใส่เศษพลาสติกในปริมาณที่เหมาะสมส่งผลให้ปริมาณผลึกเพิ่มสูงขึ้น มีการกระจายตัวที่เหมาะสม ดังภาพที่ 5 (ค)

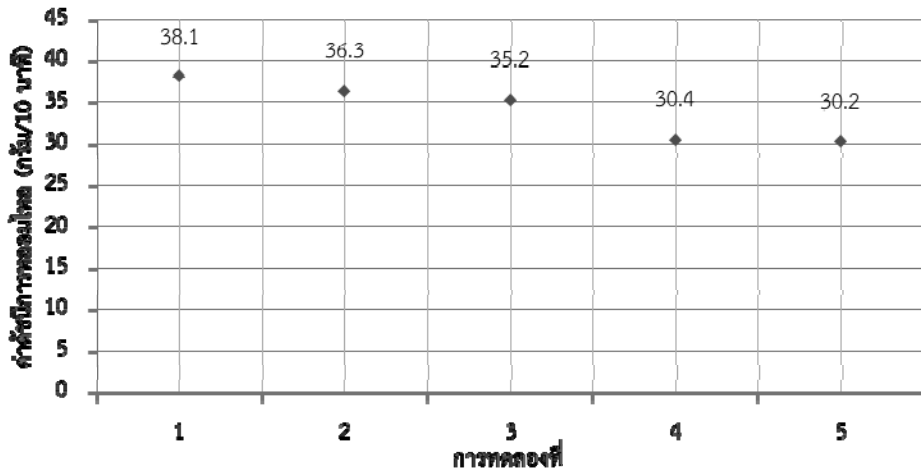


ภาพที่ 3 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของการทดลองทั้ง 5 การทดลอง

ผลการทดสอบค่าดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Index)

ค่าดัชนีการหลอมไหล (Melt Flow Index) ของการทดลองที่ 1-5 แสดงดังภาพที่ 4 พบว่าเมื่อมีการใส่เศษพลาสติกลงไปมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าดัชนีการหลอมไหลลดลง เนื่องจากเศษพลาสติกที่เติมลงไปมีความเป็นผลึก การเติมเศษพลาสติกในปริมาณที่สูงขึ้นจึงส่งผลต่อความเป็นผลึกเพิ่มสูงขึ้น จึงไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของ

การไหลทำให้อัตราการไหลลดลง (T. Gingtonga, 2018) ส่งผลให้ความหนืดมีค่าสูงขึ้น โดยการทดลองที่ 1 2 3 4 และ 5 มีค่าดัชนีการไหลลดลงตามลำดับ



ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงดัชนีการไหลของการทดลองทั้ง 5 การทดลอง

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties)

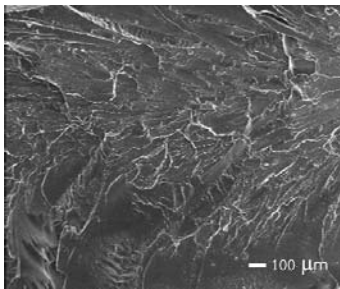
เมื่อนำชิ้นงานจากการทดลองที่ 1-5 ไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeters : DSC) ด้วยอัตราการการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากตารางที่ 1 พบว่า การเติมเศษพลาสติกในปริมาณที่มากขึ้นไม่มีผลต่ออุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature : T_g) แต่มีผลกับอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature : T_m) และอุณหภูมิการเกิดผลึก (Crystallization temperature : T_c) กล่าวคือ การเติมเศษพลาสติกในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้มีอุณหภูมิหลอมเหลวลดลง แสดงผลตามลำดับดังนี้ 220 217 215 210 และ 210 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบการทดลองที่ 1 (อัตราส่วนเม็ดพลาสติกกับริสซูธิร์ร้อยละ 100) และการทดลองที่ 3 (อัตราส่วนเม็ดพลาสติกกับริสซูธิร์ร้อยละ 50) พบว่า การทดลองที่ 3 อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมตัวลดลงไป 5 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบจากการทดลองที่ 1 เนื่องจากเศษพลาสติกที่นำมาใช้ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมาแล้ว สายโซ่โมเลกุลจึงสั้นลงส่งผลต่อการไหลตัวของพลาสติกหลอมเหลว ทำให้เกิดการหลอมไหลได้ง่ายขึ้น (M. Sugimoto, 1999) และเห็นได้ว่าในแต่ละการทดลองมีอุณหภูมิการเกิดผลึกแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยการทดลองที่ 3 มีอุณหภูมิการเกิดผลึกต่ำกว่าการทดลองที่ 1 ประมาณ 2 องศาเซลเซียส แสดงว่าในการทดลองที่ 3 มีผลึกเกิดขึ้นเร็วกว่าการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกกับริสซูธิร์ การเกิดผลึกที่เร็วขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณผลึกเพิ่มขึ้นจึงทำให้ชิ้นงานในการทดลองที่ 3 มีความแข็งแรงสูงกว่าเมื่อเทียบกับการขึ้นงานในการทดลองอื่น

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางความร้อนของการทดลองที่ 1 ถึงการทดลองที่ 5

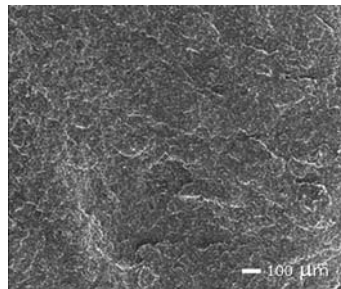
การทดลองที่	สมบัติทางความร้อน (องศาเซลเซียส)		
	อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ คล้ายแก้ว (T_g)	อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m)	อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c)
1	-38	220	106
2	-38	217	104
3	-38	215	104
4	-38	210	103
5	-38	210	101

ผลการศึกษาลักษณะปรากฏทางกายภาพ (Microstructure)

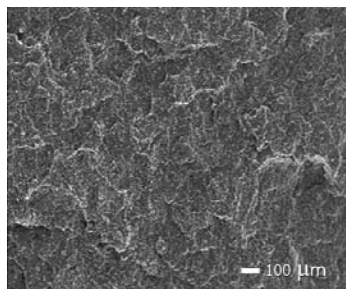
การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) แสดงดังภาพที่ 5 จากรูปจะเห็นได้ว่าการทดลองที่ 1 จะมีลักษณะของเฟสที่เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างทางจุลภาคของการทดลองอื่นๆ ที่มีการเติมเศษพลาสติกลงไป เมื่อเติมเศษพลาสติกร้อยละ 50 จะมีการกระจายตัวของเฟสได้ดีที่สุด แต่การเติมเศษพลาสติกในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดความไม่เข้ากันไม่เป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ซึ่งเห็นได้จากการมีเศษพลาสติกบางส่วนผุดออกมาที่ผิว



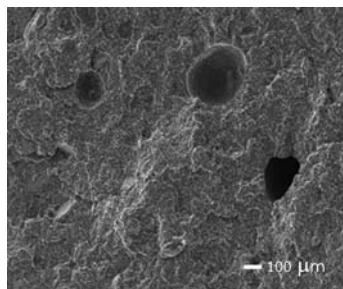
ก. การทดลองที่ 1



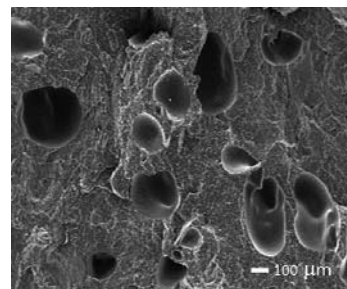
ข. การทดลองที่ 2



ค. การทดลองที่ 3



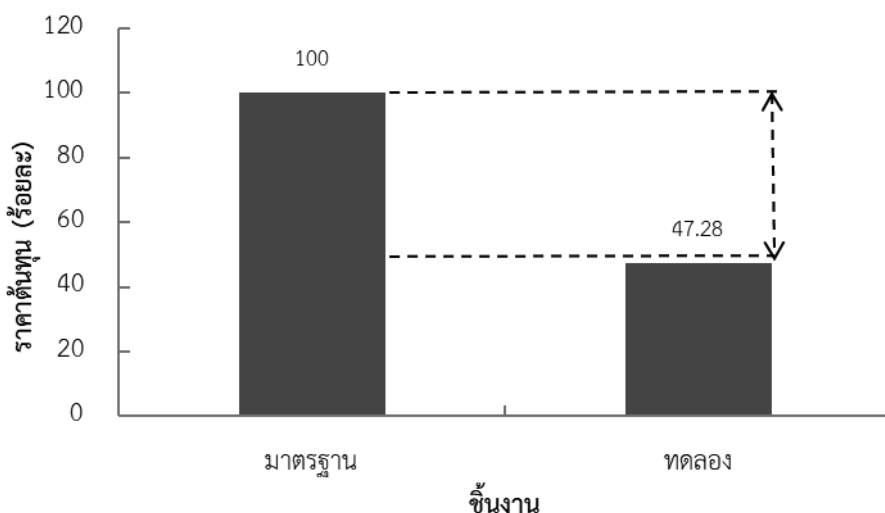
ง. การทดลองที่ 4



จ. การทดลองที่ 5

ภาพที่ 5 โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนของเม็ดพลาสติก บริษัทต่อเศษพลาสติกที่ต่างกัน

ในระหว่างกระบวนการผลิตจะมีอันตรกิริยาเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส คือเฟสที่เป็นเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์พอลิพรอพิลีนกับเฟสที่เป็นเศษพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ผ่านการให้ความร้อนมาแล้ว เฟสที่เป็นเศษพลาสติกมีผลทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ถูกตัดออกจากสายโซ่ยาวเป็นสายโซ่สั้น การที่ใช้พอลิพรอพิลีนที่เป็นสารพลาสติกชนิดเดียวกันทั้งหมด ทำให้สายโซ่โมเลกุลที่มีสายโซ่สั้นกว่าไปเหนี่ยวนำให้เกิดผลึกที่มีขนาดเล็กในเฟสของเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ได้ง่ายยิ่งขึ้น ผลึกที่มีขนาดเล็กจะส่งผลให้อัตราการก่อผลึกเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งยังทำให้อุณหภูมิการเกิดผลึกลดต่ำลง ทำให้เกิดผลึกได้เร็วยิ่งขึ้น มีปริมาณของผลึกจำนวนมากเมื่อเทียบกับเวลาที่เท่ากัน จึงส่งผลให้การจัดเรียงตัวใหม่ของพลาสติกที่มีการใส่เศษพลาสติกเข้าไปผสมกับเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์มีความแข็งแรงเพิ่มสูงขึ้น และยังส่งผลต่อร้อยละการยืดตัว (Elongation) ที่ลดต่ำลงด้วยเช่นกัน ในทางเดียวกันเมื่อร้อยละการยืดตัวลดต่ำลงจะมีผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Yong's modulus) เพิ่มสูงขึ้น เมื่ออัตราการยืดตัวต่ำจึงทำให้มีเวลามากพอในการจัดเรียงตัวของผลึก ผลึกเกิดการจัดเรียงตัวอย่างสมบูรณ์ ทำให้แนวโน้มของผลึกโดยรวมมีปริมาณลดต่ำลง ส่งผลให้อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature) ลดต่ำลงด้วย ซึ่งจากที่กล่าวมานี้ทำให้คณะผู้จัดทำคาดหวังว่า ต้องได้บรรจุภัณฑ์ที่มีการลดปริมาณการใช้เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์พอลิพรอพิลีนลงแต่มีความแข็งแรงที่เพิ่มสูงขึ้นและลดต้นทุนในการผลิตลง



ภาพที่ 6 แผนภูมิแท่งแสดงราคาต้นทุนการผลิต (ร้อยละ)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง พบว่า การทดลองที่ 3 หรือการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานที่อัตราส่วนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ร้อยละ 50 และเศษพลาสติกร้อยละ 50 มีความแข็งแรงมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความต้านทานแรงกดสูงที่สุด ส่งผลให้ร้อยละของการยืดตัวลดต่ำลงและมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีการกระจายตัวระหว่างเฟสของเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์และเศษพลาสติกเหมาะสมที่สุด อีกทั้งการทดลองที่ 3 ยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงจากเดิมได้ถึงร้อยละ 52.72 ดังแสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งเป็นเหตุให้โรงงานสามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตลงได้มาก

ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2562

อีกทั้งเมื่อนำไปตรวจคุณภาพหรือมาตรฐานของภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พบว่าชิ้นงานได้มาตรฐานไม่มีสารปนเปื้อนสามารถนำไปใช้ในบรรจุภัณฑ์อาหารได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการฉีดขึ้นรูปผนังบางที่อัตราส่วนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ร้อยละ 50 และเศษพลาสติกร้อยละ 50 สามารถนำมาใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุได้ และยังเป็น การช่วยลดต้นทุนในการผลิตชิ้นงานอีกด้วย ในขณะที่สมบัติของชิ้นงานนั้นยังคงเดิมและมีแนวโน้มที่ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัท ศรีไทย ซุปเปอร์แวร์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือตลอดการดำเนินโครงการวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ใช้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย และขอขอบคุณนางสาวญาณิสรา สุรพันธ์ นางสาววรินทร์ กุหลาบวรรณ และนางสาวสิริมาส เทวศักดิ์รักษา ที่ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยนักวิจัยภายใต้โครงการวิจัยด้วยดีตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- ไกรภพ ทองเศก. (2560). Thin Wall Injection Molding (TWIM) Products. [Online]. Available : <http://www.ftiplastic.com/images/download/140/%E0%B8%89%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%2073%2015%20%E0%B8%A1%E0%B8%B4.%E0%B8%A2.%2056.pdf> [2560, กรกฎาคม 10].
- ชिरารุณี เพชรเย็น. (2559). แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล โครงสร้าง และสมบัติของพอลิเมอร์. เอกสารคำสอน, วิชา วด337 วิศวกรรมศาสตร์พอลิเมอร์, ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี.
- รัชชนก กิ่งทอง. (2561). ผลของพารามิเตอร์ฉีดต่อสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์พอลิพรอพิลีนผนังบางด้วยวิธีการทาคุชิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. (2560). งานฉีดพลาสติก. [Online]. Available : <http://cloud.se-ed.com/Storage/Pdf/978616/081/9786160810253PDF.pdf> [2560, กรกฎาคม 10].
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2550). พลาสติกรีไซเคิล. [Online]. Available : http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/plastic_recycle.html, [2560, กรกฎาคม 10].
- Masataka S., et al. (1999). Effect of chain structure on the melt rheology of modified polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 73(8), 1493-1500.
- Ginghtonga T., et al. (2018). Effect of injection parameters on mechanical and physical properties of super ultra-thin wall propylene packaging by Taguchi method. *Results in Physics* 9, 987-995.